

PRACE ORYGINALNE

Anna Mika¹, Łukasz Oleksy^{2,3}, Edyta Mikołajczyk⁴, Anna Marchewka¹

Ocena skuteczności różnych metod wspomagających powysiłkową relaksację mięśni za pomocą elektromiografii powierzchniowej (sEMG)

The assessment of the efficacy of the post-exercise muscle recovery modalities using surface electromyography (sEMG)

¹ Katedra Rehabilitacji Klinicznej, Akademia Wychowania Fizycznego w Krakowie

² Zen Machines Polska

³ Instytut McKenziego Polska

⁴ Katedra Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego w Krakowie

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem badań była analiza skuteczności różnych form wypoczynku (czynny, bierny) w zakresie wspomagania powysiłkowej relaksacji mięśni. Oceniano również, czy zastosowanie różnych form wypoczynku czynnego (praca tych samych lub innych grup mięśni niż te, które były aktywne podczas wysiłku testowego) pozwala zaobserwować istotne różnice w zakresie parametrów aktywności bioelektrycznej badanych mięśni, mogące sugerować większą skuteczność danej metody w usuwaniu powysiłkowego zmęczenia.

Materiał i metoda: Badaniami objęto 12 osób wieku 24–35 lat. Pomiary aktywności bioelektrycznej (sEMG) mięśni obszernego bocznego (VLO), obszernego przyśrodkowego (VMO) i prostego uda (RF) przeprowadzono podczas ruchu zgięcia i wyprostowania w stawie kolanowym w warunkach pracy izokinetycznej przy prędkości kątowej 90°/s. sEMG oceniano podczas 3 kolejnych wizyt, oddzielonych tygodniową przerwą, każdorazowo przed wysiłkiem, po wysiłku i po 20 minutach powysiłkowej relaksacji, podczas której stosowano jedną z trzech metod wspomagania wypoczynku (bieg na bieżni z niewielką intensywnością, jazdę na cykloergometrze ręcznym, odpoczynek bierny w pozycji siedzącej).

Wyniki: Po wysiłku zaobserwowano wcześniejsze włączenie mięśni VLO i VMO ($p < 0.05$). Czas włączenia uległ dalszemu skróceniu po zastosowaniu wypoczynku biernego ($p < 0.05$), natomiast obie formy wypoczynku czynnego spowodowały nieznaczny wzrost czasu włączenia w stosunku do jego wartości powysiłkowej ($p > 0.05$). W obrębie mięśni VLO i VMO po wysiłku nastąpiło nieznaczne zmniejszenie się szczytowej wartości amplitudy ($p > 0.05$). Po wypoczynku biernym nastąpiło dalsze jej obniżenie, a zmiana ta była istotna statystycznie w stosunku do wartości przed wysiłkiem ($p < 0.05$). Obie formy wypoczynku czynnego pozwoliły na utrzymanie szczytowej wartości amplitudy na poziomie zbliżonym do wartości powysiłkowej ($p > 0.05$).

Wnioski: Obserwowane po wypoczynku biernym skrócenie czasu włączenia badanych mięśni oraz obniżenie się szczytowej wartości amplitudy, przy braku tych zmian po wypoczynku czynnym może sugerować, iż utrzymujące zwiększony przepływ krwi przez mięśnie łagodne ćwiczenia czynne, są skuteczniejszą formą wspomagania po-

wysiłkowej relaksacji mięśni niż forma bierna. Uzyskane w niniejszej pracy wyniki nie pozwalają na zróżnicowanie skuteczności zastosowanych dwóch metod czynnego wspomaganie wypoczynku.

Słowa kluczowe: sEMG, ćwiczenia, zmęczenie, relaksacja mięśni

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was the evaluation of different relaxation modes (active and passive) efficacy on muscle recovery. It was also assessed if application of various modalities of active recovery (work the same or different muscle groups than those, which were active during fatiguing exercise) allow us to observe significant differences in bioelectrical activity of evaluated muscles, which may suggest that one of them is more effective in elimination of postexercise fatigue.

Material and Methods: Twelve volunteers (age 24–35 years old) participated in this study. The measurements of bioelectrical activity (sEMG) of vastus lateralis oblique (VLO), vastus medialis oblique (VMO), and rectus femoris (RF) were performed in isokinetic condition at a velocity 90°/s. sEMG was assessed during 3 consecutive visits with one week gap between before fatiguing exercise, after an effort and after application 20 minutes of the recovery mode (run on the treadmill with mild intensity, arm ergometer or passive rest in sitting position).

Results: The earlier onset of VLO i VMO was observed after fatiguing exercise ($p < 0.05$), and successive shortening of onset time was observed after passive recovery ($p < 0.05$). Both active recovery modes applied produced mild increase in onset time in comparison to post-exercise value ($p > 0.05$). Peak amplitude in VLO and VMO was insignificantly decreased after fatiguing exercise ($p > 0.05$), but after passive recovery significant decrease compared to pre-exercise (baseline) value was present ($p < 0.05$). Both active recovery modes allow to remain peak amplitude similar to baseline value ($p > 0.05$).

Conclusion: Observed after passive recovery earlier onset of evaluated muscles and decrease in peak amplitude, with lack of those changes after active recovery may suggest, that mild active exercise, which remain increased muscular blood flow are more effective in post-exercise muscle recovery than passive rest. The results from this study does not allow us to differentiate the efficacy of two active recovery modes applied.

Key words: sEMG, exercise, fatigue, muscle recovery

Wstęp

Wysiłek fizyczny nieodłącznie wiąże się ze zmęczeniem, które obniża możliwości pracy mięśniowej. Może ono utrzymywać się różnie długo i trwać kilka minut, godzin, a nawet utrzymywać się kilka dni [1]. Zmęczenie mięśniowe jest definiowane jako zmniejszenie zdolności mięśni do wykonywania pracy, następujące po uprzednio wykonanym wysiłku fizycznym [2, 3] i jest wywołane zarówno przez czynniki obwodowe, jak i ośrodkowe [4].

Brak właściwego wypoczynku sprawia, że sportowcy nie mogą podejmować treningów z wymaganą intensywnością, a zmęczenie jest również czynnikiem predysponującym do urazów zarówno w sporcie, jak i w życiu codziennym. W celu zwiększenia skuteczności procesu powysiłkowej regeneracji często stosuje się różne techniki i metody wspomagające ten proces [1, 5, 6].

Jednym z kryteriów służących ocenie skuteczności danej metody wypoczynku jest to, czy po jej zastosowaniu można zaobserwować szybszą regenerację niż przy odpoczynku biernym [5, 6]. Mechanizmy odpowiedzialne za powstanie nierównowagi pomiędzy zmęczeniem i regeneracją mięśni oraz czynniki leżące u podstaw zmęczenia i wypoczynku

Introduction

Physical effort is always connected with fatigue, which decreases muscle power. It can last a few minutes, hours, or days [1]. Muscle fatigue is defined in terms of a reduction in the muscle power to perform action after physical effort has been made [2, 3] and is caused by peripheral and central factors [4].

Lack of appropriate rest is the reason why sportsmen cannot train at the required intensity, and fatigue predisposes them to injuries, both in sport and daily life. A variety of techniques and methods are used to increase the efficacy of post-exercise muscle recovery [1, 5, 6].

One of the criteria for assessing the efficacy of a given recovery modality is to apply it and check if it advanced muscle recovery more than passive rest [5, 6]. Mechanisms responsible for imbalance between fatigue and muscle recovery and factors responsible for fatigue and rest remain unclear. Nowadays many techniques aimed at assisting the process of post-exercise muscle recovery are applied. Therefore it is crucial to determine their efficacy and substantiate their use.

It is considered that the rise in muscle blood flow after physical exercise can help eliminate the

nie są jednak do końca poznane. Obecnie stosuje się wiele technik mających wspomagać proces regeneracji powysiłkowej. Dlatego niezwykle ważne jest, aby dokładnie poznać ich skuteczność i uzasadnienie ich użycia.

Uważa się, że zwiększony po ćwiczeniach przepływ krwi przez mięśnie może pomagać w szybszym usuwaniu objawów zmęczenia, dlatego łagodne ćwiczenia czynne mogą być korzystną formą wspomagania powysiłkowej regeneracji mięśni [1, 6].

Elektromiografia powierzchniowa jest uznana za rzetelne i wiarygodne narzędzie do oceny powysiłkowego zmęczenia mięśni [7–10]. Najczęściej wykorzystywanym parametrem sygnału sEMG jest zmiana w zakresie średniej i mediany częstotliwości całkowitego spektrum mocy oraz zmiana amplitudy (np. RMS- *Root Mean Square*) [4, 7, 9]. Objawem zmęczenia mięśnia podczas skurczu jest przesunięcie zakresu częstotliwości całkowitego spektrum mocy w kierunku niższych wartości, z jednoczesnym wzrostem wartości amplitudy sygnału sEMG [7, 9]. Autorzy obserwowali to zjawisko podczas skurczu izometrycznego [11] oraz podczas pracy dynamicznej, jak jazda na rowerze [12], ćwiczenia izokinetyczne [13], czy bieg [14], jednakże są również doniesienia, gdzie po wysiłku fizycznym przesunięcia w sygnale sEMG w kierunku niższych częstotliwości nie zaobserwowano [15].

Warunkiem prawidłowego wykonania wszystkich złożonych czynności ruchowych, jakie człowiek wykonuje w życiu codziennym jest właściwa synchronizacja pracy odpowiednich grup mięśniowych polegająca na odpowiednim włączeniu i wyłączeniu danych mięśni w ściśle określonej dla danego ruchu sekwencji i w ściśle określonym czasie [16,17]. Zmęczenie mięśni niekorzystnie wpływa zarówno na ten złożony mechanizm aktywacji i deaktywacji mięśni podczas ruchu [18, 19], jak i pogarsza koordynację mięśniową [20].

Najczęściej wykorzystywanym w badaniach naukowych algorytmem do określenia czasu włączenia się mięśnia jest tzw. protokół Shewhart'a [21], gdzie wartość progowa określana jest na podstawie zmiany w amplitudzie sygnału spoczynkowego poprzedzającego daną aktywność mięśniową. Za moment włączenia się mięśnia (czyli początek jego aktywności) uznaje się punkt, gdy amplituda sygnału przekroczy wartość 3-krotnego odchylenia standardowego (SD) średniej wartości sygnału spoczynkowego [21–23]. W literaturze opisane są również inne algorytmy określania progu włączenia mięśnia, jednakże są one wyznaczane również na podstawie zmienności amplitudy sygnału spoczynkowego, a różnią się jedynie wartością odchylenia

symptomów zmęczenia bardziej szybko, co jest powodem, dla którego łagodne ćwiczenia czynne mogą wspomagać powysiłkową regenerację mięśni [1, 6].

Elektromiografia powierzchniowa jest uważana za niezawodną i wiarygodną technikę do oceny zmęczenia mięśni [7–10]. Jednym z najczęściej wykorzystywanych parametrów sEMG jest zmiana w zakresie średniej i mediany częstotliwości całkowitego spektrum mocy oraz zmiana amplitudy (np. RMS- *Root Mean Square*) [4, 7, 9]. Objawem zmęczenia mięśnia podczas skurczu jest przesunięcie zakresu częstotliwości całkowitego spektrum mocy w kierunku niższych wartości, z jednoczesnym wzrostem wartości amplitudy sygnału sEMG [7, 9]. Autorzy obserwowali to zjawisko podczas skurczu izometrycznego [11], podczas pracy dynamicznej, jak jazda na rowerze [12], ćwiczenia izokinetyczne [13], czy jogging [14]. Jednakże nie zostało zgłoszone, że przesunięcia w sygnale sEMG w kierunku niższych częstotliwości nie zaobserwowano [15].

Właściwe wykonanie wszystkich złożonych czynności ruchowych, jakie człowiek wykonuje w życiu codziennym jest zależne od synchronizacji pracy odpowiednich grup mięśniowych, której synchronizacja polega na włączeniu i wyłączeniu konkretnych mięśni w ściśle określonej dla danego ruchu sekwencji i w ściśle określonym czasie [16, 17]. Zmęczenie mięśni ma negatywny wpływ na ten złożony mechanizm aktywacji i deaktywacji mięśni podczas ruchu [18, 19] oraz pogarsza koordynację mięśniową [20].

Najczęściej wykorzystywanym w badaniach naukowych algorytmem do określenia czasu włączenia się mięśnia jest tzw. protokół Shewhart'a [21], gdzie wartość progowa określana jest na podstawie zmiany w amplitudzie sygnału spoczynkowego poprzedzającego daną aktywność mięśniową. Za moment włączenia się mięśnia (czyli początek jego aktywności) uznaje się punkt, gdy amplituda sygnału przekroczy wartość 3-krotnego odchylenia standardowego (SD) średniej wartości sygnału spoczynkowego [21–23]. W literaturze opisane są również inne algorytmy określania progu włączenia mięśnia, jednakże są one wyznaczane również na podstawie zmienności amplitudy sygnału spoczynkowego, a różnią się jedynie wartością odchylenia

symptomów zmęczenia bardziej szybko, co jest powodem, dla którego łagodne ćwiczenia czynne mogą wspomagać powysiłkową regenerację mięśni [1, 6].

standardowego, przez które mnożona jest średnia wartość amplitudy, jak np. 1.4 SD [24] , 2 SD [25] czy powyżej 3SD [26, 27].

Celem badań była analiza skuteczności różnych form wypoczynku (czynny, bierny) w zakresie wspomaganie powysiłkowej relaksacji mięśni. Oceniano również, czy zastosowanie różnych form wypoczynku czynnego (praca tych samych lub innych grup mięśni niż te, które były aktywne podczas wysiłku testowego) pozwala zaobserwować istotne różnice w zakresie parametrów aktywności bioelektrycznej badanych mięśni, mogące sugerować większą skuteczność danej metody w usuwaniu powysiłkowego zmęczenia.

Material i metoda

Opis badanych

Badaniami objęto 12 osób wieku 24–35 lat (wysokość ciała $176,6 \pm 7,5$ cm; masa ciała $75,5 \pm 10,3$ kg), nietreningujących (podejmujących rekreacyjnie wysiłki fizyczne), niepalących, legitymujących się dobrym stanem zdrowia, bez schorzeń mogących mieć wpływ na przebieg i wynik badania. Badani poproszeni byli o niespożywanie posiłków i napojów zawierających kofeinę w okresie 2 godzin poprzedzających każdą wizytę, oraz o niepodjęcie intensywnych ćwiczeń fizycznych w okresie 24 godzin poprzedzających badanie.

Przed przystąpieniem do pomiarów wszyscy uczestnicy zostali szczegółowo poinformowani o ich przebiegu i wyrazili zgodę na uczestnictwo w badaniach. Uzyskano zgodę komisji bioetycznej na przeprowadzenie badań.

Plan badań

Wszystkie pomiary przeprowadzono w godzinach przedpołudniowych, aby zminimalizować wpływ dobowej zmienności bioelektrycznej aktywności mięśni. Każdy z badanych uczestniczył w 5 spotkaniach przedzielonych każdorazowo tygodniową przerwą.

Wizyta 1.

Uzyskano pomiary masy i wysokości ciała badanych. Przeprowadzono ocenę maksymalnej prędkości uzyskiwanej przez osobę badaną podczas biegu na bieżni o nachyleniu 3% (PM 3%). Prędkość początkowa bieżni wynosiła 10 km/h i wzrastała o 1 km/h co 2 minuty, a wysiłek prowadzony był do odmowy. Ocena maksymalnej prędkości badanego na bieżni o nachyleniu 3% służyła do wyznaczenia intensywności rozgrzewki (60% z PM 3%) i intensywności wysiłku przy wypoczynku czynnym (50% z PM 3%) [28].

cal performance of the muscles tested, differences which could suggest greater efficacy of one method over another in eliminating post-exercise fatigue.

Material and Method

Subjects' description

Twelve subjects aged 24 to 35 (height $176,6 \pm 7,5$ cm; body weight $75,5 \pm 10,3$ kg), inactive (undertaking recreational physical effort), nonsmoking, in good state of health, without any conditions which could influence the course and the result of the test, participated in this study. The subjects were asked not to eat or drink food containing caffeine two hours before each appointment and not to take up intensive physical exercises 24 hours before each test.

The subjects were informed about the course of the measurements in detail in advance and they agreed to participate in the tests. The Bioethical committee consented to the conduct of the tests.

The test plan

The measurements were taken in late morning hours to minimize the impact of daily shifts in muscle bioelectrical activity. Each subject had five appointments, each interspaced with a week-long break.

Appointment 1

The measurements of body weight and height of the subject were taken. The maximum speed of the subject's treadmill running, the treadmill being at a 3% tilt (PM 3%), was assessed. The initial speed of the treadmill was 10 km/h and was increased 1 km/h every 2 seconds, and physical effort was performed to exhaustion. The aim of the evaluation of the subject's maximum speed on the treadmill at a 3% tilt was to determine the intensity of the warm-up (60% with PM 3%) and physical effort during active recovery (50% with PM 3%) [28]

Appointment 2

The maximum speed of the subject's treadmill running, treadmill at a 12% tilt (PM 12%), was assessed. The initial speed of the treadmill was 5 km/h and was increased 1 km/h every 2 minutes, and physical effort was performed to exhaustion, or led to a refusal. The aim of the evaluation of the subject's maximum speed on the treadmill at a tilt of 12% was to determine the intensity of the test physical effort (120% with PM 12%) [28].

The bioelectrical activity of vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), and rectus femoris (RF) was examined by means of TeleMyo (Noraxon) electromyography (EMG). MyoResearch (Noraxon) software was used to record and analyze the sEMG

Wizyta 2.

Przeprowadzono ocenę maksymalnej prędkości uzyskiwanej przez osobę badaną podczas biegu na bieżni o nachyleniu 12% (PM 12%). Prędkość początkowa bieżni wynosiła 5 km/h i wzrastała o 1 km/h co 2 minuty, a wysiłek prowadzony był do odmowy. Ocena maksymalnej prędkości badanej na bieżni o nachyleniu 12% służyła do wyznaczenia intensywności wysiłku testowego (120% z PM 12%) [28].

Badanie aktywności bioelektrycznej mięśni obszernego bocznego (VLO), obszernego przyśrodkowego (VMO) i prostego uda (RF) przeprowadzono za pomocą elektromiografu TeleMyo (Noraxon). Rejestrację i analizę sygnału sEMG wykonano z wykorzystaniem oprogramowania MyoResearch (Noraxon). Skórę w miejscu przyklejenia elektrod odłuszczone alkoholem. Elektrody powierzchniowe (Ag/AgCl) (BIO LEAD-LOK) przyklejono równoległe do kierunku włókien mięśniowych na brzościach mięśni VLO, VMO i RF prawej kończyny dolnej. Badanie przeprowadzono zgodnie z wytycznymi projektu SENIAM [29].

W celu dokładnego zapoznania się osoby badanej z charakterem wykonywanego w czasie oceny sEMG ruchu podczas 2 wizyty wykonano próbny pomiar według tego samego protokołu, jaki był stosowany podczas właściwego badania.

Pomiar sEMG

Pomiar przeprowadzono na fotelu izokinetycznym PrimaDoc (EasyTech) w pozycji siedzącej, przy kończynie dolnej zgiętej w stawie biodrowym do 90° i w stawie kolanowym do 78° w ułożeniu, gdy oś obrotu zgodna była z osią anatomiczną stawu. Aby zapobiec ruchom tułowia podczas pomiaru, badani przypięci byli pasem stabilizującym. Podczas testu osoba badana wykonywała 10 cykli ruchu zgięcia i wyprostów w stawie kolanowym w warunkach skurczu izokinetycznego przy prędkości kątowej 90°/s [30, 31]. Pomiar aktywności bioelektrycznej mięśni VMO, VLO, RF podczas ruchu zgięcia i wyprostów w stawie kolanowym w warunkach pracy izokinetycznej przy prędkości kątowej 90°/s cechuje się dobrą powtarzalnością (ICC > 0.8) [10, 31].

Z 10 zarejestrowanych cykli ruchu zgięcia i wyprostów do analizy wybrano jeden ze środka testu (pomiędzy 4 a 6). Do analizy brany był ten cykl, w którym zapis spoczynkowej aktywności bioelektrycznej przed włączeniem mięśnia był stabilny i pozbawiony artefaktów [30]. Sygnał sEMG był analizowany podczas całego cyklu ruchu (faza wyprostów i zgięcia) [10, 31].

signal. The skin where the electrodes were attached was cleaned with alcohol. The surface electrodes (Ag/AgCl) (BIO LEAD-LOK) were attached parallel to the direction of muscle fibres to the bellies of VL, VM, RF of the right lower extremity. The measurement was conducted following SENIAM's guidelines [29].

Using the same control chart as in the proper examination, a trial measurement was taken during the second appointment to instruct the subject of the character of the movement performed during the sEMG assessment.

The sEMG measurement

The measurement was taken in the PrimaDoc (EasyTech) isokinetic chair in a sitting position with the lower extremity flexed in a hip joint to 90° and in the knee joint up to 78° in position, when the axis of rotation was concordant with the anatomical axis of the joint. To prevent trunk movements during measurement, the subjects were fastened with a stabilizing strap. During the test, the subject performed ten cycles of knee joint flexion and extension in isokinetic contraction at velocity 90°/s [30, 31]. The measurement of bioelectrical activity of VM, VL, RF during knee joint flexion and extension in the isokinetic condition at velocity 90/s has good repeatability (ICC > 0.8) [10, 31].

The fifth cycle out of the ten recorded was selected for analysis. The analyzed cycle had a stable record without artifacts of a resting bioelectrical activity preceding muscle activation [30]. The sEMG signal was analyzed throughout the movement cycle (extension and flexion phase) [10, 31].

The measurement of bioelectrical activity of the muscles tested during maximal isometric contraction (MVC – Maximal Voluntary Contraction)

The subject was asked to perform with maximal force two knee joint extensions interspersed with a five-second break (a three-second isometric contraction). The recorded bioelectrical muscle activity was the reference value for the normalization of the sEMG signal amplitude. The MVC measurement was taken at the beginning of the last three appointments prior to the test physical effort test on the treadmill.

Evaluated parameters:

Onset time (seconds) – the time of muscle activation

Offset time (seconds) – the time between muscle activation and deactivation

Time before peak (%) – the percent of the evaluated activity from the muscle activation time to the peak amplitude

Pomiar aktywności bioelektrycznej badanych mięśni podczas maksymalnego skurczu izometrycznego (MVC – Maximal Voluntary Contraction)

Osoba badana proszona była o wykonanie z maksymalną siłą wyprustu w stawie kolanowym 2-krotnie w odstępie 5 sekund (3-sekundowy skurcz izometryczny). Zarejestrowana aktywność bioelektryczna mięśni służyła jako wartość referencyjna dla normalizacji amplitudy sygnału sEMG. Pomiar MVC był wykonywany na początku wizyt 3–5 przed wysiłkiem testowym na bieżni.

Oceniane parametry:

Onset time (sekundy) – czas włączenia się mięśnia

Offset time (sekundy) – czas od włączenia do wyłączenia się mięśnia

Time before peak (%) – procent analizowanej aktywności od momentu włączenia mięśnia do osiągnięcia szczytowej wartości amplitudy

Peak (%MVC) – szczytowa wartość amplitudy znormalizowana do wartości referencyjnej

Porównano wartości ocenianych parametrów pomiędzy pomiarem przed wysiłkiem, po wysiłku i po relaksacji osobno dla każdej z zastosowanych metod wspomagania wypoczynku.

Wizyty 3, 4, 5

Kolejne trzy wizyty służyły do oceny 3 różnych metod wspomagania wypoczynku mięśni po intensywnych ćwiczeniach fizycznych.

A. Rozgrzewka (bieg na bieżni przez 5 minut z intensywnością 60% z PM3%) [28].

B. Pomiar MVC

C. Pomiar EMG przed wysiłkiem

D. Wysilek testowy – bieg na bieżni 10 razy przez 1 minutę, każdy z intensywnością 120% PM 12% z 2-minutową przerwą pomiędzy biegami. Gdy badany nie mógł wykonać całego testu (10 biegów) z wymaganą prędkością, prędkość zmniejszono o 0.5 km/h. Podczas każdej 2-minutowej przerwy w biegu badany odpoczywał, biernie stojąc na bieżni. Prędkość początkowa bieżni to 5 km/h. Cały test wysiłkowy trwał 30 minut (10x 1 min biegu i 10x 2 min przerwy)

E. Pomiar EMG – przeprowadzony zaraz po zakończeniu wysiłku (pomiar poziomu zmęczenia)

F. Relaksacja – zaraz po zakończeniu pomiaru EMG zastosowano jedną z trzech metod wspomagania wypoczynku mięśni:

– 20 minut biegu na bieżni z intensywnością 50% PM 3%

– 20 minut jazdy na cykloergometrze ręcznym (praca kończyn górnych w celu pobudzenia innych

Peak (%MVC) – the peak amplitude standardized to the reference value

The values of the evaluated parameters obtained before and after physical effort, and after recovery were compared separately for each recovery modality.

Appointments 3, 4, 5

The subsequent three appointments aimed to evaluate three muscle recovery modalities after intensive physical exercises.

A. Warm-up (running on the treadmill for five minutes at the intensity of 60% with PM3%) [28].

B. MVC measurement

C. EMG measurement before physical effort

D. Physical effort test – ten treadmill runs, each one-minute long and each performed at the intensity 120% PM 12%, interspaced with two-minute breaks. If the subject could not complete the test (ten runs) at the required intensity, velocity was reduced by 0.5 km/h. During each two-minute break, the subject rested standing on the treadmill. The initial speed of the treadmill was 5 km/h. The test physical effort lasted 30 minutes (10x one-minute run and 10x two-minute break)

F. EMG measurement – taken right after physical effort was completed (the measurement of the fatigue level)

F. Recovery – one of the three muscle recovery modalities was applied right after the EMG measurement

– a twenty-minute run on the treadmill at the intensity of 50% PM 3%

– a twenty-minute ride on the arm ergometer (upper extremities work aimed at stimulation of other muscle groups than those working during physical effort) at velocity 60 turns/min and with 10W load

– a twenty-minute rest in a sitting position

G. EMG measurement – taken right after recovery was completed (the evaluation of the recovery efficacy)

Data analysis

The statistical study was carried out using the *STATISTICA 8.0 Pl.* programme. The ANOVA test with repeated measures was used to determine the significance of the differences of the evaluated variables. The differences were statistically significant if the level of the test similarities was lower than the assumed level of significance ($p < 0,05$).

grup mięśniowych niż te, które pracowały podczas wysiłku) z prędkością 60 obrotów/min i obciążeniem 10 W

– 20 minut odpoczynku biernego w pozycji siedzącej

G. Pomiar EMG przeprowadzony zaraz po zakończeniu relaksacji (ocena skuteczności relaksacji)

Analiza danych

Opracowanie statystyczne wykonano przy użyciu programu *STATISTICA 8.0 Pl*. Dla oceny istotności różnic badanych zmiennych zastosowano test ANOVA układ z powtarzanimi pomiarami. Różnice uznawano za istotne statystycznie, jeśli poziom prawdopodobieństwa testowego był niższy od założonego poziomu istotności ($p < 0,05$).

Wyniki

Po wysiłku zaobserwowano statystycznie istotne zmniejszenie się czasu włączenia mięśni VLO i VMO. Po zastosowaniu wypoczynku biernego nastąpiło dalsze istotne statystycznie skrócenie czasu włączenia tych mięśni, natomiast obie formy wypoczynku czynnego spowodowały nieznaczny i nieistotny statystycznie wzrost czasu włączenia w stosunku do wartości powysiłkowej (ryc. 1, ryc. 2). W obrębie mięśnia RF zmiany czasu włączenia po wysiłku i po relaksacji nie były istotne statystycznie we wszystkich trzech metodach relaksacji ($p > 0,05$).

Podobny charakter zmian po wysiłku i po relaksacji zaobserwowano dla szczytowej wartości amplitudy sygnału sEMG. W obrębie mięśni VLO i VMO po wysiłku nastąpiło nieznaczne i nieistotne statystycznie zmniejszenie się szczytowej wartości amplitudy, jednakże po wypoczynku biernym nastąpiło dalsze jej obniżenie, a zmiana ta była istotna statystycznie w stosunku do wartości przed wysiłkiem. Obie formy wypoczynku czynnego pozwoliły na utrzymanie szczytowej wartości amplitudy na poziomie zbliżonym do wartości powysiłkowej (ryc. 3, ryc. 4). W obrębie mięśnia RF nie zaobserwowano żadnych, statystycznie istotnych różnic w szczytowej wartości amplitudy ($p > 0,05$).

Wszystkie trzy metody wspomagania wypoczynku nie zmieniły statystycznie istotnie czasu wyłączenia w obrębie wszystkich badanych mięśni ($p > 0,05$). Czas wyłączenia po wysiłku i po relaksacji nie różnił się statystycznie istotnie od jego wartości przedwysiłkowej ($p > 0,05$).

Parametr określający czas od włączenia mięśnia do osiągnięcia szczytowej wartości amplitudy nie zmienił się statystycznie istotnie w obrębie wszyst-

Results

A statistically significant decrease in the VL and VM onset time was observed after physical effort. A consecutive statistically significant shortening of those muscles onset time occurred after passive recovery, both active recovery modalities caused a slight and insignificant increase in the muscle onset time in relation to the post-exercise value (print 1, print 2). The changes within RF onset time after physical effort and recovery were statistically insignificant in each recovery modality ($p > 0.05$).

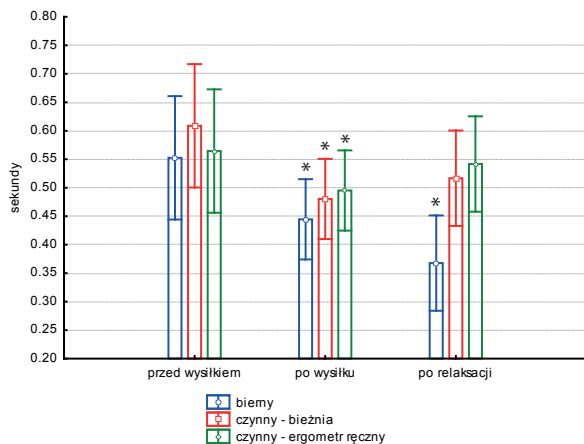
Similar changes occurred for the peak amplitude of the sEMG signal after physical effort and recovery. A slight and statistically insignificant decrease in the peak amplitude within VL and VM occurred after physical effort. Another decrease occurred after passive recovery, this decrease being statistically significant in relation to the pre-exercise value. Both active recovery modalities made it possible to keep the peak amplitude at the level similar to the post-exercise value (print 3, print 4). There were no statistically significant changes in the peak amplitude within RF ($p > 0.05$).

The three recovery modalities did not change the evaluated muscle deactivation time in a statistically significant way ($p > 0.05$). There was no statistically significant difference between the deactivation time after physical effort or recovery and its pre-exercise value ($p > 0.05$).

The time parameter referring to the period between the muscle onset time and the peak amplitude did not change in a statistically significant way within any of the evaluated muscles in any of the three recovery modalities either before physical effort or after recovery ($p > 0.05$).

Discussion

The most important information obtained in this study is the observation that mild active exercises, which assist post-exercise muscle recovery, irrespective if they were applied within the same or different muscle groups than those which were active during physical effort and which caused fatigue, facilitate the shift in parameters of muscle bioelectrical activity to their pre-exercise value. The VL and VM onset time, earlier in relation to the post-exercise value, and the decrease in the peak amplitude of the sEMG signal within VL and VM observed after passive recovery may be an indication that 20 minutes after physical effort had been completed, the post-exercise fatigue symptoms of those muscles intensified, an intensification which

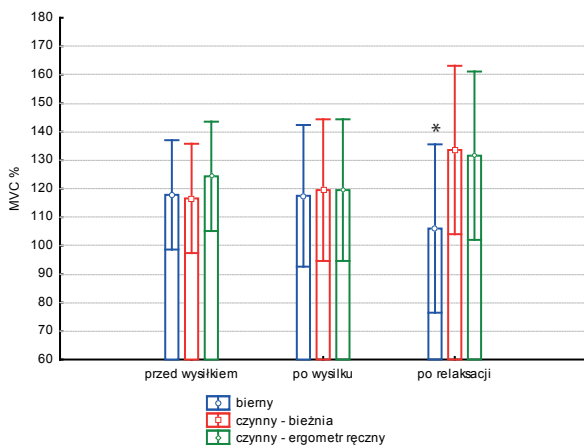


Ryc. 1. Zmiana czasu włączenia mięśnia VLO po wysiłku i po zastosowaniu poszczególnych metod wspomagania wypoczynku

* $p < 0.05$

Fig. 1. The change in VLO muscle onset time after exercise and after application of particular recovery modes.

* $p < 0.05$



Ryc. 3. Zmiana szczytowej wartości amplitudy sygnału sEMG w obrębie mięśnia VLO po wysiłku i po zastosowaniu poszczególnych metod wspomagania wypoczynku

* $p < 0.05$

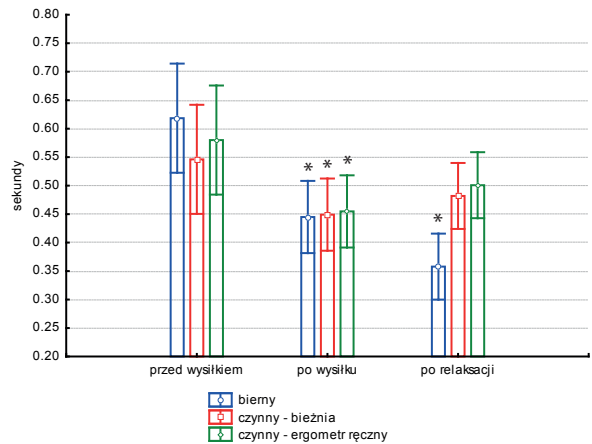
Fig.3. The change in VLO muscle sEMG peak amplitude after exercise and after application of particular recovery modes

* $p < 0.05$

kich badanych mięśni ani po wysiłku, ani po relaksacji we wszystkich 3 metodach ($p > 0.05$).

Dyskusja

Najważniejszą informacją płynącą z przeprowadzonych badań jest obserwacja, iż wspomaganie powysiłkowej relaksacji mięśni przez łagodne ćwiczenia czynne, niezależnie czy zastosowane w obrębie tych samych, czy innych grup mięśniowych niż te, które były aktywne podczas powodującego zmęczenie wysiłku, korzystnie wpływa na powrót parametrów aktywności bioelektrycznej mięśni do wartości przed-

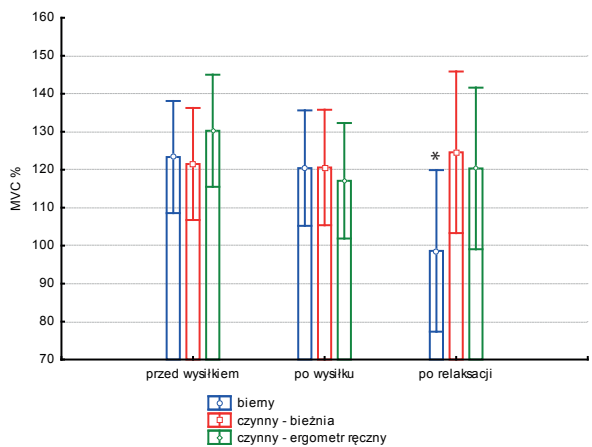


Ryc. 2. Zmiana czasu włączenia mięśnia VMO po wysiłku i po zastosowaniu poszczególnych metod wspomagania wypoczynku

* $p < 0.05$

Fig. 2. The change in VMO muscle onset time after exercise and after application of particular recovery modes.

* $p < 0.05$



Ryc. 4. Zmiana szczytowej wartości amplitudy sygnału sEMG w obrębie mięśnia VMO po wysiłku i po zastosowaniu poszczególnych metod wspomagania wypoczynku

* $p < 0.05$

Fig.4. The change in VMO muscle sEMG peak amplitude after exercise and after application of particular recovery modes

* $p < 0.05$

was not observed after the application of either of the active recovery modalities.

The amplitude of the sEMG signal during muscle activity initially increases and then, as the fatigue symptoms intensify, the value of the parameters decreases [3, 7, 9]. In the initial phase of fatigue on the peripheral level, a decline in the activity of motor units can be observed [20], which results in a gradual decrease in muscle contraction power. To keep the muscle activity on the required level, the central nervous system increases central stimulation of the motor units. As a result, electrical discharge in active motor units occur more often and more mo-

wysiłkowych. Wcześniej w stosunku do wartości powysiłkowej włączenie mięśni VLO i VMO oraz obniżenie szczytowej wartości amplitudy sygnału sEMG w obrębie VLO i VMO zaobserwowane po wypoczynku biernym może świadczyć o tym, że po 20 minutach od zakończenia wysiłku nastąpiło nasilenie objawów powysiłkowego zmęczenia tych mięśni, czego nie obserwowano po zastosowaniu obydwu form wypoczynku czynnego.

Zmiany w zakresie amplitudy sygnału sEMG podczas aktywności mięśniowej cechuje początkowy wzrost, a następnie w miarę narastania objawów zmęczenia spadek wartości tego parametru [3, 7, 9]. W początkowym okresie zmęczenia na poziomie obwodowym obserwuje się zmniejszenie aktywacji jednostek motorycznych [20], co skutkuje stopniowym obniżeniem się siły skurczu mięśniowego. Aby utrzymać aktywność mięśnia na wymaganym poziomie, centralny układ nerwowy zwiększa stymulację ośrodkową jednostek motorycznych. Powoduje to, iż w aktywnych dotychczas jednostkach motorycznych wyładowania elektryczne zachodzą częściej oraz aktywowana jest większa ilość jednostek motorycznych, uwzględniając również te nieaktywne do tej pory. Wszystko to prowadzi do obserwowanego w początkowym okresie zmęczenia mięśni wzrostu amplitudy w celu utrzymania skurczu na zadanym poziomie [4, 32]. Jednakże zwiększanie liczby pobudzanych jednostek motorycznych ograniczone jest takimi czynnikami jak rodzaj mięśnia (zawartość włókien wolno- i szybko kurczliwych), długość i intensywność wysiłku czy poziom wysiłkowych metabolitów we krwi [4]. Wszystkie te czynniki sprawiają, że ilość pobudzanych jednostek motorycznych wzrasta do pewnego momentu, a potem zaczyna spadać, obniżając tym samym amplitudę sygnału sEMG [32, 33]. Uważa się, że zmiana w zakresie parametrów sygnału sEMG podczas wysiłku powodującego zmęczenie mięśnia jest głównie związana z obniżeniem się prędkości przewodzenia, co jest związane z nagromadzeniem produktów przemiany materii na powierzchni błony jednostek motorycznych [33]. W sytuacji, gdy zapewniony jest właściwy przepływ krwi przez pracujące mięśnie, wszystkie te metabolity są szybko usuwane, a tym samym zarówno przepuszczalność błony mięśniowej jak i parametry aktywności bioelektrycznej mięśni szybciej wracają do wartości przedwysiłkowych [34]. W miarę narastania zmęczenia ilość aktywnych jednostek motorycznych zmniejsza się i spada również prędkość przewodzenia włókien mięśniowych [35], jednostki motoryczne pobudzane są wolniej, a praca jednostek motorycznych staje się bardziej zsynchronizowana [2]. Wszystko to prowa-

tor units are activated, considering also the inactive units. This leads to the increase of the amplitude, observed in the initial phase of muscle fatigue, and aims to keep the muscle contraction on the required level [4, 32]. However, the growth of the stimulated motor units is limited by the following factors: the kind of muscle (the amount of slow and *fast* twitch fibres), the length and intensity of physical effort, or the level of the exercise metabolite in blood [4]. Under the influence of those factors, the number of the stimulated motor units increases up to a certain point, and then it begins to fall, thus decreasing the amplitude of the sEMG signal [32, 33].

It is considered that the shift in the sEMG signal parameters during physical effort leading to muscle fatigue is related to the lower frequency of conduction, which is related to the accumulation of the metabolism products on the surface of the motor unit membrane [33]. When active muscle blood flow is proper, metabolites are quickly removed to the effect that the permeability of the muscle membrane and the parameters of the muscle bioelectrical activity regain their pre-exercise value [34]. As fatigue increases, the number of active motor units and the velocity of muscle fibre conduction decrease [35], the stimulation of motor units is slower, the work of motor units is better synchronized [2]. This leads to a gradual decrease in muscle power [20].

The increased motor unit recruitment in the initial phase of post-exercise fatigue and the increased amplitude related to it can explain the shortening of the VL and VM onset time after physical effort and passive recovery observed in my own studies. The central stimulation of the muscle contraction accompanied by increasing fatigue may lead to a greater number of discharges in active motor units in order to initiate contraction, thus raising the signal amplitude in the rest phase, bringing about an earlier occurrence of the threshold value, which value activates the muscle.

But with fatigue the factors which decrease the muscle potential for recruitment of motor units proliferate, which may cause the gradual decrease in the signal peak amplitude during physical effort, which, in my own studies, was observed as the decrease in the peak amplitude after passive recovery in relation to the post-exercise value. The variability of the amplitude observed in my own studies may suggest that passive recovery applied 20 minutes after physical effort does not remove the muscle fatigue symptoms well enough which lowers the chances for keeping the muscle power on the required level. The absence of changes in the peak amplitude after active recovery may suggest that mild exercises ap-

dzi do stopniowego zmniejszenia możliwości pracy mięśniowej [20].

Zwiększona rekrutacja jednostek motorycznych w początkowym okresie wywołanego wysiłkiem fizycznym zmęczenia i związane z tym zwiększenie amplitudy może tłumaczyć obserwowane w badaniach własnych skracanie się czasu włączenia mięśni VLO i VMO po wysiłku i po wypoczynku biernym. Przy narastającym zmęczeniu stymulacja ośrodkowa skurczu mięśniowego może bowiem powodować zwiększenie ilości wyładowań w aktywnych jednostkach motorycznych w celu zainicjowania skurczu, zwiększając amplitudę sygnału w fazie spoczynkowej, powodując tym samym wcześniejsze pojawienie się progowej wartości sygnału wywołującej włączenie mięśnia.

Jednakże narastanie w miarę zmęczenia czynników zmniejszających możliwości mięśnia do rekrutacji jednostek motorycznych, może być przyczyną stopniowego zmniejszania się szczytowej wartości amplitudy sygnału podczas wysiłku, co obserwowane było w badaniach własnych jako zmniejszenie się szczytowej wartości amplitudy po wypoczynku biernym w stosunku do wartości powysiłkowej. Obserwowana w badaniach własnych zmienność w zakresie amplitudy może sugerować, iż wypoczynek bierny stosowany w okresie 20 minut po wysiłku w stopniu niewystarczającym usuwa objawy zmęczenia mięśni, a to prowadzi do zmniejszenia możliwości utrzymania pracy mięśniowej na odpowiednim do potrzeb poziomie. Brak zmian w szczytowej wartości amplitudy po zastosowaniu wypoczynku czynnego może natomiast sugerować, że łagodne ćwiczenia zastosowane po intensywnym wysiłku fizycznym mogą przyspieszać usuwanie objawów zmęczenia mięśni i tym samym utrzymanie zdolności do zwiększonej rekrutacji jednostek motorycznych podczas kolejnego wysiłku.

Badania Lariviere i wsp. [33] wykazały, że 10–15 minut na czynną relaksację mięśni po intensywnym wysiłku jest czasem wystarczającym na to, aby mięsień wrócił do swojej sprawności przedwysiłkowej. Vaz i wsp. [36] oceniali natomiast powysiłkowe zmiany w zakresie średniej częstotliwości sygnału sEMG w obrębie mięśnia prostego uda i obszerne go boczne i zaobserwowali, że po 15 minutach wypoczynku biernego prędkość przewodzenia jednostek motorycznych wracała do wartości wyjściowych, jednak średnia wartość amplitudy nadal była podniesiona w stosunku do wartości przed wysiłkiem. Esposito i wsp. [37] wykazali natomiast, że po 10 minutach wypoczynku biernego powysiłkowe zmęczenie mięśni powoduje 26% obniżenie w MVC oraz zauważalne zmiany w zakresie amplitudy i czę-

plię po intensywnej pracy fizycznej może przyczynić się do usunięcia objawów zmęczenia mięśni i tym samym zwiększenia potencjału rekrutacji jednostek motorycznych podczas kolejnego wysiłku.

Badania Lariviere, et al., [33] wykazały, że 10–15 minut na czynną relaksację mięśni po intensywnym wysiłku jest czasem wystarczającym na to, aby mięsień wrócił do swojej sprawności przedwysiłkowej. Vaz, et al., [36] oceniali natomiast powysiłkowe zmiany w zakresie średniej częstotliwości sygnału sEMG w obrębie mięśnia prostego uda i obszerne go boczne i zaobserwowali, że po 15 minutach wypoczynku biernego prędkość przewodzenia jednostek motorycznych wracała do wartości wyjściowych, jednak średnia wartość amplitudy nadal była podniesiona w stosunku do wartości przed wysiłkiem. Esposito, et al., [37] wykazali natomiast, że po 10 minutach wypoczynku biernego powysiłkowe zmęczenie mięśni powoduje 26% obniżenie w MVC oraz zauważalne zmiany w zakresie amplitudy i czę-

plię po intensywnej pracy fizycznej może przyczynić się do usunięcia objawów zmęczenia mięśni i tym samym zwiększenia potencjału rekrutacji jednostek motorycznych podczas kolejnego wysiłku. The studies of Lariviere, et al., [33] showed that 10-15 minutes for active muscle recovery after intensive physical effort is sometimes enough time for muscles to regain their pre-exercise power. Vaz, et al., [36] evaluated the post-exercise shifts in the average frequency of the sEMG signal of rectus femoris and vastus lateralis and observed that after 15 minutes of passive recovery the velocity of conduction of motor units regained its threshold value, but the amplitude was still higher than its pre-exercise value. Esposito, et al., [37] proved that 10 minutes after passive recovery, post-exercise muscle fatigue caused a decrease in MVC by 26% and noticeable shifts in the amplitude and the frequency of the sEMG signal. The changes of these parameters occurred despite the fact that the level of force parameters obtained after recovery and before physical effort was the same.

A proper sequence of the muscle activation during movement is essential for a completion of a given movement task, and muscle fatigue may disrupt this precise mechanism [16,17,20]. If the amplitude of the sEMG signal increases because of fatigue in the initial phase of the physical movement, the number of motor units activated in the initial phase of contraction will rise proportionally to muscle fatigue. During resting which progresses contraction, the amplitude of the signal also increases to the effect that the value of the standard tilting of the shifts in amplitude triples and the muscle onset time occurs earlier [21–23], which can suggest that in the analysis of post-exercise fatigue, the earlier muscle onset time may be the symptom of that phenomenon. The post-exercise earlier VL and VM onset time observed in my own studies confirms this phenomenon. The consecutive shortening of the onset time after 20 minutes of passive recovery may indicate that under the following conditions the process of post-exercise muscle recovery is not intensive enough, and moreover a greater intensification of the fatigue symptoms occurs despite the fact that no muscle activity was performed. These findings correspond to other authors' observations who assessed the changes in the activation of semitendinosus [38] and external oblique muscles after fatigue [39]. They observed earlier muscle activation after fatigue in relation to muscle activation before fatigue. Grondin, et al., [40] also describe earlier activation of paraspinal muscles in the thoracic part of the spine observed after intensive physical effort.

stotliwości sygnału sEMG. Zmiany tych parametrów obserwowano, pomimo iż poziom parametrów siłowych uzyskanych w badaniu po wypoczynku nie różnił się od tego w badaniu przed wysiłkiem.

Właściwa sekwencja włączenia się mięśni podczas ruchu jest podstawowym warunkiem prawidłowego wykonania danego zadania ruchowego, a pojawienie się zmęczenia w obrębie mięśni może zakłócić ten precyzyjny mechanizm [16, 17, 20]. Jeżeli na skutek zmęczenia w początkowej fazie wysiłku wzrasta amplituda sygnału sEMG, to im mięsień jest bardziej zmęczony, tym więcej jednostek motorycznych aktywuje na początku skurczu. Tym samym, podczas okresu aktywności spoczynkowej poprzedzającej skurcz, amplituda sygnału również się zwiększa, czego efektem jest szybsze przekroczenie trzykrotnej wartości odchylenia standardowego zmian amplitudy i szybciej następuje włączenie mięśnia [21–23], co może oznaczać, że gdy analizujemy zjawisko powysiłkowego zmęczenia wcześniejsze włączenie mięśnia może być jego oznaką.

Obserwowane w badaniach własnych po wysiłku wcześniejsze włączenie mięśni VLO i VMO potwierdza istnienie tego zjawiska. Dalsze skrócenie czasu włączenia mięśni po 20 minutach wypoczynku biernego może wskazywać na to, iż w takich warunkach proces powysiłkowej relaksacji mięśni nie zachodzi z wymaganą intensywnością, a nawet obserwuje się dalsze narastanie objawów zmęczenia, pomimo niepodejmowania żadnej aktywności mięśniowej. Wyniki te pozostają w zgodzie z obserwacjami innych autorów, którzy oceniali po zmęczeniu zmiany w czasie włączenia się mięśni półścięgniastych [38] i skośnych zewnętrznych [39]. Zaobserwowali oni wcześniejsze włączenie się tych mięśni po zmęczeniu w stosunku do czasu włączenia przed zmęčeniem. Również Grondin i wsp. [40] opisują wcześniejsze włączenie mięśni przykręgosłupowych w odcinku piersiowym obserwowane po intensywnym wysiłku fizycznym.

Wypoczynek po wysiłku fizycznym jest niezbędnym elementem utrzymania homeostazy organizmu. Istnieją doniesienia mówiące o tym [41], że w przypadku zmęczenia wysiłkiem fizycznym wypoczynek powinien mieć formę czynną z wykorzystaniem grup mięśniowych, które nie uległy zmęczeniu. Badania prowadzone w tym zakresie wykazały, że gdy po wyczerpującym wysiłku fizycznym aktywowana jest inna grupa mięśniowa, to praca wykonana po aktywnym odpoczynku jest o 22% większa niż wtedy, gdy odpoczynek był bierny. Również podobne wyniki uzyskano gdy zarówno wysiłek, jak i następnie ćwiczenia czynne niezmięczonych grup mięśniowych prowadzono w warunkach wywoła-

Post-exercise recovery is an indispensable element of maintaining homeostasis in the body. It was reported [41] that in case of post-exercise fatigue, recovery should be active and should involve muscle groups which remained unaffected by fatigue. Research in the same area found that if another muscle group is activated after a grueling physical exercise, work performed after active recovery is greater by 22% than after passive recovery. Similar results were obtained when physical effort and active recovery of the muscle groups unaffected by fatigue were conducted at the presence of malperfusion triggered off by a compression band and when recovery involved headwork. As authors suggest, those findings can be explained with the fact that recovery after local fatigue is most affected by the central nervous system, which is independent of active muscle local blood flow [41]. However, our results do not lend support to those observations because the variability of the assessed parameters after active recovery involving those muscle groups which were active also during physical effort was the same as after active recovery involving muscles unaffected by earlier physical effort.

Removal of lactate from blood and muscles is considered to be crucial for the advancement of post-exercise recovery and ability to undertake other physical effort [5]. Although Lau, et al., [42] proved that active recovery performed at the subject's preferred intensity does not advance lactate removal, low-intensity training performed in post-exercise recovery usually does. Ahmaidi, et al., [43] and Thiriet, et al., [6] proved that less lactate assembles in blood after low-intensity active recovery applied between the repeated cycles of intensive exercises than after passive recovery.

Thiret, et al., [6] observed a different variability of lactate level in blood with a variety of recovery modalities. They suggest that active recovery increases lactate removal from blood most likely because muscles in motion increase the level of lactate oxidation. Referring to their own studies Tiret and et al. [6] suggest that an insufficient number of motor units involved in recovery may limit the amount of lactate removed from blood during recovery and after optimal physical effort. In other words, muscles are the final recipient of lactate which is the substrate used for producing energy during physical effort, and the more muscle motor units are involved during recovery, the faster lactate can be eliminated, which suggests greater efficacy of active recovery modalities.

It was also observed in our previous studies [44] that mild active exercises (riding an arm er-

nego mankietem uciskowym niedokrwienia, czy też gdy jako wypoczynek prowadzono pracę umysłową. Jak sugerują autorzy, wytłumaczeniem takich wyników może być fakt, że na wypoczynek po zmęczeniu lokalnym największy wpływ ma działanie ośrodkowego układu nerwowego, które jest niezależne od miejscowego przepływu krwi przez pracujące mięśnie [41]. Jednakże nasze wyniki nie potwierdzają tych obserwacji, gdyż zmienność w zakresie badanych parametrów była taka sama zarówno po wypoczynku czynnym angażującym te same grupy mięśniowe, które były aktywne podczas wysiłku, jak i po wysiłku czynnym angażującym mięśnie nieobjęte wcześniejszym wysiłkiem.

Uważa się, że usuwanie mleczanu z krwi i mięśni jest istotne dla przyspieszenia powysiłkowej relaksacji i zdolności do podjęcia kolejnego wysiłku [5]. Pomimo że Lau i wsp. [42] wykazał, że wypoczynek czynny o intensywności dowolnie wybranej przez badanego nie przyspiesza usuwania mleczanu, ćwiczenia o niskiej intensywności wykonywane w okresie powysiłkowej relaksacji zazwyczaj skutkują przyspieszeniem w jego usuwaniu. Ahmaidi i wsp. [43] oraz Thiriet i wsp. [6] wykazali, że wypoczynek czynny o niewielkiej intensywności stosowany pomiędzy powtarzаныmi seriami intensywnych ćwiczeń powoduje mniejszą koncentrację mleczanu we krwi w porównaniu z wypoczynkiem biernym.

Thiriet i wsp [6] zaobserwowali odmienną zmienność poziomu mleczanu we krwi przy zastosowaniu różnych metod wypoczynku. Sugerują oni, że wypoczynek czynny zwiększa jego wydalanie z krwi prawdopodobnie przez zwiększony poziom oksydacji mleczanu przez pracujące mięśnie. Opierając się na wynikach badań własnych Tired i wsp. [6] sugeruje, że czynnikiem ograniczającym wydalanie mleczanu podczas wypoczynku po wysiłku maksymalnym może być niedostateczna ilość jednostek motorycznych zaangażowanych w proces wypoczynku. Innymi słowy, mięśnie są ostatecznym odbiorcą mleczanu będącego substratem do produkcji energii podczas wysiłku, a im więcej jednostek motorycznych mięśni jest zaangażowanych podczas wypoczynku, tym szybsza może być eliminacja mleczanu, co sugeruje większą skuteczność czynnego wspomaganie wypoczynku.

Również w naszych poprzednich badaniach [44] zaobserwowano, że łagodne ćwiczenia czynne (jazda na rowerze z obciążeniem 10 Wat) po uprzednim zmęczeniu mięśni są bardziej skuteczne w usuwaniu zmęczenia niż wypoczynek bierny i stretching. MVC oceniane po wypoczynku czynnym nie różniło się od jego wartości przedwysiłkowej, natomiast w przypadku 2 pozostałych metod wspomaganie

gometer with 10W load) after muscle fatigue are more effective in removing fatigue than passive rest and stretching. MCV after active recovery was the same as after physical effort, but in the case of the two other recovery modalities the value of MCV significantly decreased. The sEMG parameters also indicated that active recovery was more effective in removing the fatigue symptoms.

Many authors analyzed the process of muscle fatigue and recovery using surface electromyography and evaluated the average and median frequencies of the complete power range [45]. In view of the analyses, the shift to the pre-exercise frequency of the sEMG signal seems to occur faster than the shift in muscle power and endurance. If muscle fatigue occurs after isometric effort, the authors observed the shift in median frequency returns to its pre-exercise value within 1 to 6 minutes. After dynamic exercises, however, median frequency was lowered from 0.75 to 1 hour, and from 2 to 7 days after eccentric exercises [45].

Some authors reported that active and passive recovery modalities have the same influence on the parameters obtained during subsequent physical effort [5, 42]. However, other works [6, 43, 44] do not lend support to those reports, suggesting that active recovery is more beneficial. The discrepancy between the reports may be caused both by a variety of control charts of the test physical effort used by the authors, and by different length of recovery time.

Adverse shifts in muscle onset time parameters and in the peak amplitude which occurred only after passive recovery, yet did not occur after either active recovery modality, suggest that low-intensity active exercises performed after intensive physical effort may be more effective in removing post-exercise fatigue. A similar variability of parameters of muscle bioelectrical activity, which was observed in both active recovery modalities, does not make it possible to determine that one modality is more effective than another. Lack of those differences could explain the fact that the subjects were inactive and their low level of fitness made it impossible to observe those subtle differences. Therefore, new studies in the field of post-exercise muscle recovery should be conducted, taking into consideration a greater number of groups and subjects taking up regular forcible and endurance training.

Conclusions

- The shortening of muscle onset time after passive recovery and the decrease in the peak amplitude, a decrease which did not occur after

wypoczynku nastąpiło jego istotne obniżenie. Również parametry sEMG wskazywały na przewagę wypoczynku czynnego w skuteczności usuwania objawów zmęczenia.

Proces zmęczenia mięśni i ich wypoczynku był analizowany przez wielu autorów za pomocą elektromiografii powierzchniowej, a najczęściej ocenianym parametrem była średnia i mediana częstotliwości całkowitego spektrum mocy [45]. W świetle tych badań powrót do wartości przedwysiłkowych parametrów częstotliwości sygnału sEMG wydaje się zachodzić szybciej niż powrót siły i wytrzymałości mięśni. W sytuacji gdy zmęczenie mięśni zachodzi po wysiłku izometrycznym, autorzy obserwowali powrót mediany częstotliwości do wartości przedwysiłkowych w czasie 1–6 minut. Natomiast po ćwiczeniach o charakterze dynamicznym, mediana częstotliwości była obniżona przez okres od 0.75 godziny do 1 dnia, a czas ten był jeszcze dłuższy, osiągając 2–7 dni po ćwiczeniach ekscentrycznych [45].

Brak różnic pomiędzy wpływem wypoczynku czynnego i biernego na parametry uzyskane podczas kolejnego wysiłku obserwowali niektórzy autorzy [5, 42]. Jednakże inne prace [6, 43, 44] nie potwierdzają tych doniesień, przemawiając na korzyść wypoczynku czynnego. Taka rozbieżność uzyskanych wyników może być spowodowana zarówno różnymi protokołami wysiłku testowego stosowanymi przez poszczególnych autorów, jak i różnym czasem trwania samego wypoczynku.

Obserwowane po zastosowaniu wypoczynku biernego niekorzystne zmiany w parametrach włócznie mięśni oraz w szczytowej wartości amplitudy, które jednocześnie nie występowały w przypadku obydwu metod czynnego wspomaganie relaksacji sugerują, iż ćwiczenia czynne o niewielkiej intensywności wykonywane po intensywnym wysiłku fizycznym mogą być korzystne w szybszym usuwaniu powysiłkowego zmęczenia. Podobna zmienność parametrów aktywności bioelektrycznej badanych mięśni obserwowana w obydwu metodach czynnego wspomaganie wypoczynku nie pozwala na uznanie którejkolwiek z nich za skuteczniejszą, jednakże brak tych różnic może być prawdopodobnie spowodowany tym, iż grupę badaną stanowiły osoby nietreningowe, u których stosunkowo niski poziom sprawności fizycznej nie pozwolił na zaobserwowanie tak subtelnych różnic. Dlatego też, istnieje potrzeba dalszych badań nad zjawiskiem wpływu wspomaganie powysiłkowej relaksacji mięśni, uwzględniając większą liczebność badanych grup, a także osoby regularnie trenujące dyscypliny sportu o charakterze wytrzymałościowym i siłowym.

active recovery, may suggest that mild active exercises, which keep muscle blood flow high, are more effective in assisting post-exercise muscle recovery than passive ones.

- The results of this study do not make it possible to differentiate between the efficacy of the two active recovery modalities.

Wnioski

- Obserwowane po wypoczynku biernym skrócenie czasu włączenia badanych mięśni oraz obniżenie się szczytowej wartości amplitudy, przy braku tych zmian po wypoczynku czynnym może sugerować, iż utrzymujące zwiększony przepływ krwi przez mięśnie łagodne ćwiczenia czynne są skuteczniejszą formą wspomagania powysiłkowej relaksacji mięśni niż forma bierna.
- Uzyskane w niniejszej pracy wyniki nie pozwalają na różnicowanie skuteczności zastosowanych dwóch metod czynnego wspomagania wypoczynku.

Piśmiennictwo / References

1. Barnett A.: *Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. Does it help?* Sports Medicine 2006; 36(9),781–796.
2. Bigland-Ritchie B., Woods J.J.: *Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue.* Muscle Nerve 1984;7,691–699.
3. DeLuca C.J.: *Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in human.* Crit Rev Biomed Eng 1984;11, 251–279.
4. Gandevia S.C.: *Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue.* Physiol Rev 2001;81,1725–1789.
5. Lattier G., Millet G.Y., Martin A. et al.: *Fatigue and Recovery after High-Intensity Exercise. Part II: Recovery Interventions.* Int J Sports Med 2004;25,509–15.
6. Thirtet P., Gozal D., Wouassi D. et al.: *The effects of various recovery modalities on subsequent performance in consecutive supramaximal exercise.* J Sports Med Phys Fitn 1993; 33,118–29.
7. Basmajian J.V., DeLuca C.J.: *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography* 1985; Baltimore: Williams & Wilkins.
8. Grendle B., Karlsson S., Crenshaw A.G., Friden J.: *The relationship between EMG and muscle morphology throughout sustained static knee extension at two submaximal force levels.* Acta Physiol Scand 1997;82,144–51.
9. Farina D.: *Interpretation of the Surface Electromyogram in Dynamic Contractions.* Exerc Sport Sci Rev 2006;34(3),121–127.
10. Larsson B., Mansson B., Kalberg C., Syvertsson P., Elert J., Gerdle B.: *Reproducibility of surface EMG variables and peak torque during three sets of ten dynamic contractions.* J of Electromyography and Kinesiology 1999;9,351–357.
11. Ament W., Bonga G.J.J., Hof A.L., Verkerke G.J.: *Electromyogram median power frequency in dynamic exercise at medium exercise intensities.* Eur J Appl Physiol 1996;74, 180–186
12. Bouissou Ph., Estrade P.Y., Goubel F., Guezennec C.Y., Serrurier B.: *Surface EMG power spectrum and intramuscular pH in human vastus lateralis muscle during dynamic exercise.* J Appl Physiol 1986;67,1245–1249.
13. Grendle B., Hedberg R., Jonsson B., Fugl-Meyer A.R.: *Mean power frequency and integrated electromyogram of repeated isokinetic plantar flexions.* Acta Physiol Scand 1987;130, 501–506.
14. Ament W.B., Bonga G.J.J., Hof A.L., Verkerke G.J.: *EMG median power frequency in an exhausting exercise.* J Electromyogr Kinesiol 1993;3,214–220.
15. Arendt-Nielsen L., Mills K.R.: *The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fibre velocity.* Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1985;60, 130–134.
16. O'Boyle D.J., Freeman J.S., Cody F.W.J.: *The accuracy and precision of timing of self-paced, repetitive movements in subjects with Parkinson's disease.* Brain 1996;119,51–70.
17. Allison G.T.: *Trunk muscle onset detection technique for EMG signals with ECG artefact.* J Electromyogr Kinesiol 2003; 13,209–216.
18. Strange A.J., Berg W.P.: *Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments.* Exp Brain Res 2007; 178,49–61.
19. Wilder D.G., Aleksiev A.R., Magnusson M.L., Malcolm P.H., Spratt K.F., Goel V.K.: *Muscular response to sudden load: A tool to evaluate fatigue and rehabilitation.* Spine 1996;21, 2628–2639.
20. Gates D.H., Dingwell J.B.: *The effects of neuromuscular fatigue on task performance during repetitive goal-directed movements.* Exp Brain Res 2008;187(4),573–585.
21. Stokes I.A., Gardner-Morse M., Henry S.M., Badger G.J.: *Decrease in trunk muscular response to perturbation with preactivation of lumbar spinal musculature.* Spine 2000;25, 1957–1964.
22. Staude G., Wolf W.: *Objective motor response onset detection in surface myoelectric signal.* Medical Engineering & Physics 1999;21,449–467.
23. Hodges P.W., Bui B.H.: *A comparison of computer-based methods for the determination of onset of muscle contraction using electromyography.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 1996;101,414–417.
24. Radebold A., Cholewicki J., Panjabi M.M., Patel T.C.: *Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain.* Spine 2000;25,947–954.
25. Hodges P.W., Richardson C.A.: *Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transverses abdominis.* Spine 1996;21,2640–2650.
26. Di Fabio R.P.: *Reliability of computerized surface electromyography for determining the onset of muscle activity.* Physical Therapy 1987;67,43–48.
27. Happee R., Van der Helm F.C.: *The control of shoulder muscles during goal directed movements, an inverse dynamic analysis.* J Biomech 1995;28,1179–1191.

28. Lattier G., Millet G.Y., Martin A., et al.: *Fatigue and Recovery after High-Intensity Exercise*. Part I: *Neuromuscular Fatigue*. Int J Sports Med 2004;25,450–56.
29. *The SENIAM project* (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles) www.seniam.org
30. Moore B.D., Drouin J., Gansneder B.M., Shultz S.J.: *The differential effects of fatigue on reflex response timing and amplitude in males and females*. J Electromyogr Kinesiol 2002; 12,351–360.
31. Larsson B., Karlson S., Eriksson M., Gerdle B.: *Test-retest reliability of EMG and peak torque during repetitive maximum concentric knee extension*. J Electromyogr Kinesiol 2003;13,281–297.
32. Dimitrova N.A., Dimitrov G.V.: *Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies*. J Electromyogr Kinesiol 2003;13,13–36.
33. Lariviere C., Gravel D., Arseneault A.B., Gagon D., Loisel P.: *Muscle recovery from a short fatigue test and consequence on the reliability of EMG indices of fatigue*. Eur J Appl Physiol 2003;89,171–176.
34. Miller R.G., Giannini D., Milner-Brown H.S., Layzer R.B., Koretsky A.P., Hooper D. et al.: *Effects of fatiguing exercise on high-energy phosphates, force and EMG: evidence for three phases of recovery*. Muscle Nerve 1987;10,810–821.
35. Farina D., Fattorini L., Felici F., Filligoi G.: *Nonlinear surface EMG analysis to detect changes of motor unit conduction velocity and synchronization*. J Appl Physiol 2002;93,1753–1763.
36. Vaz M.A., Zhang Y., Herzog W., Guimaraes A.C.S., MacIntosh B.R.: *The behavior of rectus femoris and vastus lateralis during fatigue and recovery: an electromyographic and vibromyographic study*. Electromyogr Clin Neurophysiol 1996; 36,221–230.
37. Esposito F., Orizio C., Veicsteinas A.: *Electromyogram and mechanomyogram changes in fresh and fatigued muscle during sustained contraction in men*. Eur J Appl Physiol 1998; 78,494–501.
38. Vuillerme N., Nougier V., Teasdale N.: *Effects of lower limbs muscular fatigue on anticipatory postural adjustments during arm motions in humans*. J Sports Med Phys Fitness 2002; 42,289–294.
39. Allison G., Henry S.: *The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements, a pilot study*. Clin Biomech 2002;17,414–417.
40. Grondin D.E., Potvin J.R.: *Effects of trunk muscle fatigue and load timing on spinal responses during sudden hand loading*. J Electromyogr Kinesiol 2009;19,e237–e245.
41. Jaskólski A., Jaskólska A.: *Podstawy fizjologii pracy i wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka*. Wydawnictwo AWF Wrocław 2005.
42. Lau S, Berg K, Lattin RW, et al. *Comparison of active and passive recovery of blood lactate and subsequent performance of repeated work bouts in ice hockey players*. J Strength Cond Res 2001;15,367–71.
43. Ahmaidi S., Granier P., Taoutaou Z., et al.: *Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise*. Med Sci Sports Exerc 1996;28, 450–56.
44. Mika A., Mika P., Fernhall B., Unnithan VB.: *Comparison of Recovery Strategies on Muscle Performance after Fatiguing Exercise*. American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 2007;86(6),474–481.
45. Elfving B., Liljequist D., Dederig A., Nemeth G.: *Recovery of electromyograph median frequency after lumbar muscle fatigue analysed using an exponential time dependence model*. Eur J Appl Physiol. 2002;88,85–93.

Adres do korespondencji / Mailing address:

Anna Mika
 Katedra Rehabilitacji Klinicznej AWF Kraków
 al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków
 tel. (12) 6831134; fax (12) 6831300
 e-mail: anna.mika@awf.krakow.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 6 września 2010
 Zaakceptowano do druku: 15 grudnia 2010